



[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft eine Phasenregelschleife.

[0002] Phasenregelschleifen, welche in integrierten Schaltkreisen implementiert sind, weisen üblicherweise spannungsgesteuerte Oszillatoren auf, welche eine nicht-lineare Abstimmkennlinie haben. Die Nichtlinearität ist bedingt durch Einschränkungen der Fertigungsprozesse und der verwendeten Schaltungstechnik. Um die Stabilität des Regelkreises aufrecht zu erhalten, erzwingt diese Nicht-Linearität, die Regelschleife so zu dimensionieren, daß sie verhältnismäßig langsam einschwingt.

[0003] Ein schnelles Einschwingen ist jedoch in Hochfrequenz-Sende- und Empfangsanordnungen von Bedeutung, da zur Kanalwahl beziehungsweise zur Umschaltung zwischen zwei Kanälen in Sender und Empfänger je zumindest ein Phasenregelkreis auf eine neue Frequenz einschwingen muß. Da beispielsweise im Mobilfunk verwendete Vielfachzugriffsverfahren ein sehr häufiges und sehr schnelles Kanalwechseln im Sende- und Empfangsbetrieb erfordern, ist ein schnelles Einschwingen der Regelschleife gefordert.

[0004] Die beschriebene hohe Linearität kann bisher lediglich durch externe VCO (Voltage Controlled Oscillator)-Module, die nicht in der Phasenregelschleife mit integriert werden, erzielt werden.

[0005] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Phasenregelschleife anzugeben, welche vollständig in einem integrierten Schaltkreis integrierbar ist und zugleich eine hohe Linearität aufweist.

[0006] Erfindungsgemäß wird die Aufgabe mit einer Phasenregelschleife gelöst, aufweisend

einen gesteuerten Oszillator, der an einem Ausgang ein Ausgangssignal mit einer Frequenz in Abhängigkeit von einem an einem Eingang des Oszillators anliegenden Abstimmsignal bereitstellt,

– einen Vergleichers, mit einem ersten Eingang, der mit dem Ausgang des Oszillators gekoppelt ist und mit einem zweiten Eingang, dem ein Signal mit einer Bezugsfrequenz zuführbar ist,

– eine Steuerschaltung, die an einem Ausgang des Vergleichers angeschlossen ist und an ihrem Ausgang in Abhängigkeit von einer Phasenabweichung zwischen dem Signal mit der Bezugsfrequenz und dem Ausgangssignal des Oszillators das Abstimmsignal bereitstellt, und die zu ihrer Ansteuerung einen Referenzsignaleingang aufweist,

– einen Analog/Digital-Wandler mit einem Eingang, der zur Zuführung des Abstimmsignals mit dem Ausgang der Steuerschaltung gekoppelt ist, und mit einem Ausgang und

– einem Referenzsignalgenerator, der eingangsseitig mit dem Ausgang des Analog/Digital-Wandlers gekoppelt ist und der an seinem Ausgang, der mit dem Referenzsignaleingang der Steuerschaltung gekoppelt ist, in Abhängigkeit von der Abstimmspannung ein Referenzsignal bereitstellt.

[0007] Mittels des beschriebenen Analog/Digital-Wandlers, der das Abstimmsignal der Phasenregelschleife auswertet, wird dieses Abstimmsignal in diskrete Wertebereiche unterteilt und im nachgeschalteten Referenzsignalgenerator wird jedem dieser Wertebereiche ein Wert des Referenzsignals zugeordnet.

[0008] Die beschriebene Kompensation beruht auf der Vorhersagbarkeit der Abstimmkennlinie, insbesondere deren nichtlinearer Eigenschaften, welche in integrierter

Schaltungstechnik möglich ist.

[0009] Eine Nicht-Linearität der Regelstrecke, beispielsweise der Abstimmkennlinie, das heißt der Steilheit des Oszillators, wird dadurch vorkompensiert.

5 [0010] Das beschriebene Prinzip ermöglicht ein schnelles Einschwingen bei hoher Stabilität der Regelung und bei guten Linearitätseigenschaften der Regelstrecke.

[0011] Die Vorgabe der gewünschten Ausgangsfrequenz der Regelschleife erfolgt üblicherweise durch eine Frequenzteiler, der ein einstellbares Tellerverhältnis aufweist und zwischen Ausgang des Oszillators und ersten Eingang des Vergleichers, der die Phasenlagen der Eingangssignale vergleicht, geschaltet ist.

[0012] In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist der Analog/Digital-Wandler einen Steuereingang auf zu seiner Aktivierung während eines Einschwingvorgangs der Phasenregelschleife.

[0013] Nach einem Umschalten des Teilerverhältnisses oder einer Veränderung der Frequenz des Bezugssignals, beispielsweise bei einem Kanalwechsel in einem Sender oder Empfänger, schwingt die Phasenregelschleife auf eine neue Frequenz ein. Während dieser Einschwingzeit wird der Analog/Digital-Wandler für eine begrenzte Zeitspanne aktiviert.

Nach einer vorgebbaren Zeit, nach der sich das Abstimmsignal nur noch geringfügig innerhalb einer festlegbaren Zeitspanne ändert, das heißt, daß die Regelschleife vollständig oder nahezu vollständig eingeschungen ist, wird der Analog/Digital-Wandler wieder deaktiviert. Hierdurch ist der Kalibriervorgang beendet. Ein frequenzstörender

30 Einfluß des Analog/Digital-Wandlers auf das Abstimmsignal selbst ist demnach ausgeschlossen, da der Analog/Digital-Wandler nach Beendigung des Einschwingvorgangs abgeschaltet wird. Für den beschriebenen Abgleich, das heißt die Kompensation von Nicht-Linearitäten insbesondere im

35 Oszillator, sind keine zusätzlichen Abgleichzeiten erforderlich, da der beschriebene Abgleich in dem ohnehin erforderlichen Einschwingvorgang erst miterfolgen kann. Die Linearisierung der Regelstrecke führt vielmehr zu einer höheren Stabilität und der Möglichkeit eines schnelleren Einschwingens auf eine neue Frequenz.

[0014] Aufgrund der Wertdiskretisierung des Abstimmsignals im A/D-Wandler erfolgt die kompensierende Rückkopplung zwar wertdiskret, aber bevorzugt zeitkontinuierlich in einem begrenzten Zeitintervall jeweils während eines Einschwingens der PLL auf eine neue Frequenz.

[0015] In einer weiteren, bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist ein Speicher mit dem Ausgang des Analog/Digital-Wandlers gekoppelt zum Speichern des wertdiskreten Abstimmsignals. Um nach einem Einschwingen der Phasenregelschleife auf eine neue Frequenz die vom Abstimmsignal abhängige Kompensation, das heißt den Wert des Referenzsignals zu speichern, kann der beschriebene Speicher zusätzlich mit der Steuerschaltung gekoppelt sein. Hierdurch kann nach Beenden eines Einschwingvorgangs bis zum Beginn des nächsten Einschwingvorgangs das ermittelte Abgleichwort gespeichert werden.

[0016] In einer weiteren, bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung hat der Oszillator einen umschaltbaren Frequenzbereich und der Referenzsignalgenerator hat einen weiteren Eingang zur Bereitstellung des Referenzsignals in Abhängigkeit vom eingestellten Frequenzbereich.

[0017] Da ein Umschalten des Frequenzbereichs des Oszillators, beispielsweise durch Zu- oder Abschalten zusätzlicher, die Schwingkreisfrequenz des Oszillators bestimmender Elemente wie Festwertkapazitäten üblicherweise in integrierter Schaltungstechnik auch zu einer Veränderung der Steilheit des Oszillators führt, das heißt zu einer veränderten

Steigung der Abstimmkennlinie desselben, kann das beschriebene Prinzip vorteilhafterweise auch auf die Kompensation dieser veränderten Steilheit mit angewendet werden. Hierfür weist der Referenzsignalgenerator den weiteren Eingang auf, dem die Information, welcher Frequenzbereich im Oszillator aktuell eingestellt ist, zugeführt werden kann. Das Referenzsignal zur Kompensation von Nicht-Linearitäten der Abstimmkennlinie hängt demnach einerseits vom gerade vorhandenen Abstimmsignal und andererseits vom gewählten Frequenzbereich, der in festen Schritten veränderbar ist, ab.

[0018] In einer weiteren, bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist ein Pufferverstärker zwischen Steuerschaltung und Analog/Digital-Wandler geschaltet.

[0019] Dieser Pufferverstärker weist bevorzugt ebenfalls einen Steuereingang auf, zu seiner Aktivierung während eines Einschwingvorgangs der Phasenregelschleife.

[0020] Das Einfügen eines abschaltbaren Pufferverstärkers hat den Vorteil einer hohen Rückwärtsisolation. Der Pufferverstärker selbst weist einen hohen Eingangswiderstand auf, der möglichst geringe Rückwirkungen auf das üblicherweise empfindliche Abstimmsignal hat. Beispielsweise bei Ausbildung des Oszillators als spannungsgesteuerter Oszillator ist das Abstimmsignal eine Abstimmspannung, welche eine sehr präzise und empfindliche Spannung ist. Der Rückwirkungsfreiheit beziehungsweise der Rückwärtsisolation der vorliegenden, zusätzlichen Signalverarbeitung des Abstimmsignals kommt demnach eine hohe Bedeutung zu.

[0021] In einer weiteren, bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung weist der Analog/Digital-Wandler einen oder mehrere, parallel geschaltete Komparatoren auf.

[0022] Die Ausführung des A/D-Wandlers mit Komparatoren, denen an einem weiteren Eingang jeweils ein Referenzsignal zuführbar ist, welches beispielsweise durch einen Spannungsteiler mit äquidistanten Abständen gewonnen werden kann, ist in einfacher Weise integrierbar. Selbstverständlich können aber auch andere bekannte Verfahren der A/D-Wandlung eingesetzt werden.

[0023] In einer weiteren, bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist zum Speichern der digitalisierten Abstimmspannung je ein D-Flip-Flop an je einen Ausgang je eines Komparators angeschlossen.

[0024] Die beschriebenen D-Flip-Flop ermöglichen in einfacher Weise ein Zwischenspeichern des ermittelten Abgleichwortes, welches der digitalisierten Abstimmspannung entspricht, von einem Abgleichvorgang bis zum nächsten, um sicherzustellen, daß das der Steuerschaltung zuzuführende Referenzsignal bis zum nächsten Einschwingvorgang der Regelschleife konstant bleibt.

[0025] In einer weiteren, bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist zum Einstellen der Frequenz des Ausgangssignals des Oszillators ein Frequenzteiler mit einstellbarem Teilverhältnis vorgesehen, der den Ausgang des Oszillators mit dem ersten Eingang des Vergleichers koppelt.

[0026] Mit dem Frequenzteiler ist beispielsweise bei Anwendung der Phasenregelschleife zur Erzeugung eines Lokaloszillatorsignals in Mobilfunk-Sendern oder -Empfängern ein Ändern dieser Lokaloszillatorfrequenz und damit ein Kanalwechsel möglich.

[0027] In einer weiteren, bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung umfaßt die Steuerschaltung eine Ladungspumpenschaltung, der zu ihrer Ansteuerung des Referenzsignals zuführbar ist, mit nachgeschaltetem Schleifenfilter.

[0028] Das Schleifenfilter stellt dabei eine Abstimmspannung bereit, welche sich in Abhängigkeit einer von der Ladungspumpenschaltung gelieferten elektrischen Ladungsmenge ergibt. Ladungspumpenschaltungen benötigen zu ihrer Funktionsweise üblicherweise einen Referenzstrom, der gemäß vorliegendem Prinzip nicht konstant ist, sondern durch die kompensatorische Regelung beeinflußt.

[0029] In einer weiteren, bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist im Referenzsignalgenerator eine Abgleichtabelle abgelegt, die zum Abgleich von Nicht-Linearitäten der Abstimmkennlinie des Oszillators jeweils Intervallen des Abstimmsignals je einen Wert des Referenzsignals zugeordnet.

[0030] Die Kompensationswerte für die Nicht-Linearität können entweder in einem Speicher abgelegt sein oder beispielsweise mit einem Mikroprozessor eingelesen werden. Die Abgleichtabelle kann in einer analogen Schaltungsrealisierung oder in einem digitalen Speicher abgelegt sein. Der Abgleich kann auch beispielsweise dadurch erfolgen, daß der digitalisierte Wert des Abstimmsignals direkt an die Ladungspumpenschaltung weitergegeben wird und erst dort die Umsetzung des digitalen Wertes in einen Referenzstrom der Ladungspumpenschaltung erfolgt.

[0031] Weitere Einzelheiten der Erfindung sind Gegenstand der Unteransprüche.

[0032] Die Erfindung wird nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel anhand der Zeichnungen näher erläutert.

[0033] Es zeigen:

[0034] Fig. 1 ein beispielhaftes Blockschaltbild einer Phasenregelschleife mit Kompensation von Nichtlinearitäten,

[0035] Fig. 2 die Abstimmkennlinie eines spannungsgesteuerten Oszillators gemäß Schaltbild von Fig. 1,

[0036] Fig. 3 ein Diagramm der Steigung der Abstimmkennlinie von Fig. 2,

[0037] Fig. 4 die Verstärkung der offenen Schleife zum einen ohne und zum anderen mit Kompensation bei der Regelschleife gemäß Fig. 1,

[0038] Fig. 5 das Referenzsignal gemäß Fig. 1 zur Steuerung der Ladungspumpenschaltung, zum einen mit und zum anderen ohne Kompensation.

[0039] Fig. 1 zeigt eine Phasenregelschleife mit einem spannungsgesteuerten Oszillator 1, der an einem Ausgang ein Ausgangssignal A mit einer Frequenz bereitstellt, welche von einer eingangsseitig am spannungsgesteuerten Oszillator, VCO, Voltage Controlled Oscillator, anliegenden Abstimmspannung B abhängt. Ausgangsseitig am spannungsgesteuerten Oszillator 1 ist ein Frequenzteiler 2 angeschlossen, welcher die Frequenz des Ausgangssignals A herunterteilt und das Signal mit der heruntergeteilten Frequenz an einem ersten Eingang eines Phasendetektors 3 zuführt. Hierzu ist der Frequenzteiler 2 mit seinem Eingang an den Ausgang des VCO 1 und mit seinem Ausgang an den ersten Eingang des Phasendetektors 3 angeschlossen. Einem weiteren Eingang des Phasendetektors 3 ist ein Signal mit einer Bezugsfrequenz E zuführbar, dessen Phasenlage im Phasendetektor mit der Phasenlage des heruntergeteilten Ausgangssignals A verglichen wird. In Abhängigkeit von dieser Phasenabweichung steuert der Phasendetektor 3 eine an seinem Ausgang angeschlossene Ladungspumpenschaltung 4 an, der ein Schleifenfilter 5 nachgeschaltet ist. Das Schleifenfilter 5 integriert den von der Ladungspumpenschaltung 4 abgegebenen Strom zur den Oszillator 1 ansteuernden Abstimmspannung B. Der Ausgang des Schleifenfilters 5 ist hierfür mit dem Abstimm Eingang des Oszillators 1 verbunden.

[0040] Die Phasenregelschleife wie oben beschrieben ist zur Kompensation von Nicht-Linearitäten im spannungsgesteuerten Oszillator, insbesondere der üblicherweise vor-

handenen nichtlinearen Abstimmkennlinie wie nachfolgend beschrieben um eine Kompensationsschaltung zur Bereitstellung einer Vorkompensation dieser Nichtlinearität ergänzt.

[0041] Ein Pufferverstärker 6 ist mit seinem Eingang an den Ausgang des Schleifenfilters 5 zur Übermittlung der Abstimmspannung B angeschlossen. Der Ausgang des Pufferverstärkers 6 ist mit je einem Eingang einer Vielzahl von Komparatoren 7 verbunden. Je ein weiterer Eingang der Komparatoren ist über einen Widerstandsteiler, aufgebaut aus einer Serienschaltung von Widerständen 8, an eine Versorgungsspannungsquelle 9 angeschlossen. Hierdurch ist in einfacher Weise eine Analog/Digital-Wandlung in einem Parallelverfahren angegeben. Die Serienschaltung aus den Widerständen 8 unterteilt die Versorgungsspannung, die von der Quelle 9 bereitgestellt wird, in beispielsweise äquidistante Spannungsintervalle.

[0042] Während einer Einschwingphase der Phasenregelschleife auf eine neue Ausgangsfrequenz des Ausgangssignals A, beispielsweise durch Verändern des Frequenzteilverhältnisses des Teilers 2, werden der Pufferverstärker 6 sowie der Analog/Digital-Wandler 7, 8 mit einem Aktiviersignal F eingeschaltet, zur Bereitstellung einer zeitkontinuierlichen kompensatorischen Regelung. Nach Ende des Einschwingvorgangs werden Pufferverstärker 6 und Komparatoren 7, welche den Analog/Digital-Wandler bilden, wieder abgeschaltet. Das Aktiviersignal F ist dabei für eine Zeitdauer an Steuereingängen des Pufferverstärkers 6 und der Komparatoren 7 anliegend, die entweder durch ein fest vorgebbares Zeitintervall, oder durch Auswerten der Abstimmspannung B so lange, bis in einem vorgebbaren Zeitintervall lediglich eine Änderung unterhalb einer einstellbaren Schwelle vorliegt, einzustellen.

[0043] Zur Speicherung des wertdiskreten, am Ausgang der Komparatoren 7 bereitgestellten und von der Abstimmspannung abgeleiteten Abstimmsignals, ist an je einen Ausgang je eines Komparators 7 je ein zustandsgesteuertes D-Flip-Flop 10 mit seinem D-Eingang angeschlossen. Das Aktiviersignal F ist jeweils den Takteingängen C der D-Flip-Flops 10 zuführbar. Die Ausgänge Q der D-Flip-Flops 10 sind mit je einem Transistorschalter 11 an dessen Steuereingang verbunden. Die Transistorschalter bilden ein schaltbares Widerstandsnetzwerk in einem Referenzsignalgenerator zur Bereitstellung eines Referenzstroms zur Ansteuerung der Ladungspumpenschaltung 4. Mit je einem Lastanschluß sind die Transistorschalter 11 hierfür miteinander und mit der Versorgungsspannungsquelle 9 verbunden. Über Widerstände 12, welche je nach zu implementierender Abgleichtabelle gleiche oder verschiedene Widerstandswerte haben können, sind die Transistorschalter 11 über je einen weiteren Lastanschluß miteinander und mit einem Stromspiegeltransistor 13 gekoppelt, der mit einem weiteren Transistor 14 einen Stromspiegel bildet. Der Stromspiegeltransistor 13 ist weiterhin mit einer Stromquelle 15 verbunden. Ausgangsseitig am Stromspiegel 13, 14 ist an dem Kollektoranschluß des Stromspiegeltransistors 14 der Steuereingang der Ladungspumpenschaltung 4 angeschlossen. Ein weiteres, schaltbares Widerstandsnetzwerk mit Transistorschaltern 16 und Widerständen 17, in dessen Abhängigkeit ebenfalls der Referenzstrom, welcher der Ladungspumpenschaltung 4 zuführbar ist, einstellbar ist, ist zwischen Emitterschluß des Transistors 14 des Stromspiegels 13, 14 und Versorgungs- spannungsquelle 9 geschaltet. Die Steuereingänge der Transistorschalter 16 sind dabei mit einer nicht eingezeichneten Ansteuerschaltung verbindbar, welche auch zu einer Frequenzbandumschaltung im Oszillator 1 durch Verändern von dessen Schwingfrequenz in festen Schritten dient. Ein Steuereingang, mit dem dem Referenzsignalgenerator 11 bis

17 ein derartiges Signal zur Bandumschaltung zuführbar ist, ist mit 18 bezeichnet.

[0044] Der spannungsgesteuerte Oszillator 1 weist zur Veränderung der Ausgangsfrequenz Varaktordioden auf, welche einen spannungsabhängigen Kapazitätswert aufweisen. Die Steilheit der sich daraus ergebenden Abstimmkennlinie ist jedoch aufgrund der Diodencharakteristik nichtlinear. Wenn zudem der einstellbare Frequenzbereich durch Zuschalten weiterer, fester Kapazitäten veränderbar ist, so ändert sich zusätzlich die Steilheit  $K_{VCO}$  des spannungs- gesteuerten Oszillators. Das Zuschalten fester Kapazitäten verringert nämlich nicht nur die Resonanzfrequenz des VCO, sondern auch den Abstimbereich der Varaktordioden, da die Kapazitätsänderung der Varaktordioden nun im Verhältnis zur vergrößerten Resonanzkapazität steht.

[0045] Daraus ergibt sich, daß die Regelverstärkung der Phasenregelschleife nicht konstant ist, die Phasenregelschleife jedoch auch beim größten einstellbaren  $K_{VCO}$  stabil bleiben muß. Um dieses Stabilitätskriterium zu erfüllen, schwingt die Phasenregelschleife jedoch bei einem kleinen  $K_{VCO}$  langsam ein.

[0046] Die beschriebene Wertdiskretisierung und Einteilung des Abstimmsignals B, das heißt der Tuning-Spannung, in diskrete Wertebereiche entspricht demnach einer Diskretisierung der nichtlinearen Abstimmkennlinie, wobei für jeden diskreten Abstimmspannungsbereich je ein zugeordneter Referenzstromwert mit einer analogen Referenzsignalschaltung erzeugt wird. Diese Kompensation ist dabei als Vorkompensation ausgeführt, da das Referenzstromsignal der Ladungspumpenschaltung 4, die dem Oszillator 1 über ein Schleifenfilter 5 vorgeschaltet ist, von dem ermittelten Abstimmspannungsbereich abhängig ist.

[0047] Die Digitalisierung der Abstimmspannung B erfolgt während eines Einschwingvorgangs der Phasenregelschleife auf eine neue Ausgangsfrequenz. Folglich ist im analogen Widerstandsnetzwerk 11 bis 17 zur Erzeugung des Referenzstromes für die Ladungspumpenschaltung eine Abgleichtabelle zum Abgleich der Nicht-Linearitäten des Oszillators 1 abgelegt. Somit kann über den gesamten Abstimbereich bei guter Stabilität der Regelschleife ein schnelles Einschwingen der Regelschleife sichergestellt werden.

[0048] Der Referenzstrom der Ladungspumpenschaltung wird entsprechend der Varaktordiodenkennlinie digital und in Gegenrichtung, das heißt die Nicht-Linearität kompensierend, eingestellt. Eine Veränderung des Referenzstroms der Ladungspumpenschaltung wirkt sich multiplikativ auf ihr Ausgangssignal aus und verändert daher die Regelverstärkung der Schleife. Zur beschriebenen Umschaltung des Frequenzbereichs des Oszillators durch Zuschalten fester Kapazitäten liegen in üblichen Phasenregelschleifen ohnehin die Steuersignale als digitale Steuersignale vor, welche ohne großen Aufwand dem zusätzlichen Steuereingang 18 des Referenzsignalgenerators 11 bis 17 zuführbar sind, um den Referenzstrom der Ladungspumpenschaltung ebenfalls in festen Schritten zu verändern zur Kompensation der veränderten Steilheit des Oszillators 1.

[0049] Da die Abstimmspannung B eines Oszillators 1 üblicherweise ein empfindliches Steuersignal ist, ist zwischen Analog/Digital-Wandler 7, 8 und Ausgang des Schleifenfilters 5 ein Pufferverstärker 6 geschaltet, der eine unerwünschte Rückwirkung auf die Abstimmspannung B verhindert. Der D/A-Wandler 7, 8 weist eine Vielzahl parallel geschalteter Komparatoren 7 auf. Die Ausgangswerte des D/A-Wandlers 7, 8 werden einseitig kontinuierlich in die als Latches arbeitenden D-Flip-Flop 10 eingelesen zur Speicherung für die Zeitspanne zwischen zwei Einschwingvorgängen der PLL als auch zu einer kontinuierlichen Kalibrie-

rung des Referenzstroms für die Ladungspumpenschaltung 4 verwendet. Nach einer vorgegebenen Zeit, nach der sich die Abstimmspannung nur noch wenig verändern darf, das heißt, daß die Phasenregelschleife ganz oder beinahe eingeschwenkt ist, bleiben die zuletzt eingestellten Komparatorwerte durch Sperren der Speicherzellen 10 gespeichert. [0050] Das beschriebene Prinzip, welches eine einfache Vorkompensation der Nicht-Linearität der Abstimmioden ermöglicht, ist einfach zu implementieren, da die Nicht-Linearität der Abstimmkennlinie a priori bekannt und keinen größeren Schwankungen unterworfen ist.

[0051] Die beschriebene Kompensation ist demnach gekennzeichnet durch eine zeitkontinuierliche, aber wertdiskrete Kompensation, die durch Referenzstromereinstellung während der Einschwingzeit der Regelschleife und eine fest eingestellte Kompensation nach Ende der Einschwingzeit der Phasenregelschleife erfolgt.

[0052] Die Nichtlinearität der Varaktordioden kann über eine fest verdrahtete Gewichtung der Referenzströme oder eine Gewichtung der Schaltschwellen der Komparatoren kompensiert werden. Um Frequenzstörungen im Ausgangsspektrum des Oszillators zu vermeiden, werden nach Ende der Einschwingzeit der Regelschleife der bevorzugt mit MOS-Schaltungstechnik realisierte Pufferverstärker 6 sowie die Komparatoren 7 abgeschaltet. Soll die Regelschleife mit einem externen VCO-Modul betrieben werden, so kann hierfür die beschriebene Vorkompensation mittels des Steuersignals F abgeschaltet werden.

[0053] Ein Zuschalten fester Kapazitäten zum Oszillator 1 kann gleichzeitig und unabhängig von der Kompensation erfolgen.

[0054] Die beschriebene Kompensationsschaltung ist einfach realisierbar und benötigt zu ihrer Realisierung lediglich einen Pufferverstärker, der als einfacher Operationsverstärker realisiert sein kann, 3 bis 4 Komparatoren, welche ebenfalls in einfacher Weise als Schmitt-Trigger aufgebaut sein können sowie eine Stromspiegelschaltung mit Schalt- und Einstellmöglichkeiten, beispielsweise mit Transistorschaltern und Widerständen aufbaubar sowie ein ebenfalls geringen Aufwand an Steuerlogik.

[0055] Es liegt im Rahmen der Erfindung, anstelle der beschriebenen A/D-Wandlerschaltung, der beschriebenen Speicherbausteine sowie der beschriebenen Abgleichstabelle auch andere, dem Fachmann bekannte Schaltungsvarianten zur Realisierung der beschriebenen Vorkompensation einzusetzen.

[0056] Fig. 2 zeigt eine beispielhafte, typische Abstimmkennlinie eines spannungsgesteuerten Oszillators anhand einer auf einer normierten Frequenzachse über der Abstimmspannung U aufgetragenen Ausgangsfrequenz f. Man erkennt, daß die Abstimmkennlinie im Ursprung eine Steilheit  $m_1$  von 1,6 und bei der maximal einstellbaren Frequenz eine Steilheit  $m_2 = 0,6$  aufweist, wodurch sich ein Verhältnis von größter zu kleinster Steilheit von  $m_1 : m_2 = 2,66$  ergibt.

[0057] Fig. 3 zeigt anhand der ersten Ableitung der Abstimmkennlinie  $df/dU$  den Verlauf der Steigung der Abstimmkennlinie gemäß Fig. 2 in normierter Darstellung. Es ist ersichtlich, daß mit zunehmender Abstimmspannung die Steigung der Kennlinie abnimmt.

[0058] Fig. 4 zeigt die Schleifenverstärkung der Regelschleife gemäß Fig. 1 in einer normierten Darstellung aufgetragen über der Abstimmspannung des Oszillators. Ohne Kompensation ergibt sich eine mit zunehmender Abstimmspannung nahezu linear abnehmende Regelverstärkung, das heißt Verstärkung der offenen Schleife, während mit aktivierter Kompensation ein signifikant konstanterer Verlauf der Regelverstärkung erzielt ist.

[0059] Fig. 5 schließlich zeigt den normierten Referenz-

strom für die Ladungspumpenschaltung aufgetragen über der Abstimmspannung U des VCO, angewendet in einer PLL gemäß Fig. 1. Der Strom I1 ist ein über den gesamten Abstimmbereich konstanter Abgleichstrom bei einer Schaltung ohne Kompensation, während sich mit der erfindungsgemäßen Kompensation ein mit zunehmender Abstimmspannung stufenweise ansteigender Strom I2 zur Kompensation der Nichtlinearitäten ergibt.

#### Bezugszeichenliste

- 1 VCO
- 2 Teiler
- 3 Phasendetektor
- 4 Ladungspumpe
- 5 Schleifenfilter
- 6 Puffer
- 7 Komparator
- 8 Widerstand
- 9 Spannungsquelle
- 10 D-Flip-Flop
- 11 Transistorschalter
- 12 Widerstand
- 13 Stromspiegeltransistor
- 14 Transistor
- 15 Stromquelle
- 16 Transistorschalter
- 17 Widerstand
- 18 weiterer Eingang
- A Ausgangssignal
- B Abstimmspannung
- C Takteingang
- D Dateneingang
- E Bezugssignal
- F Aktiviersignal
- G Referenzsignal

#### Patentansprüche

1. Phasenregelschleife, aufweisend einen gesteuerten Oszillator (1), der an einem Ausgang ein Ausgangssignal (A) mit einer Frequenz in Abhängigkeit von einem an einem Eingang des Oszillators (1) anliegenden Abstimmsignal (B) bereitstellt, einen Phasenvergleicher (3), mit einem ersten Eingang, der mit dem Ausgang des Oszillators (1) gekoppelt ist und mit einem zweiten Eingang, dem ein Signal mit einer Bezugsfrequenz (E) zuführbar ist, eine Steuerschaltung (4, 5), die an einem Ausgang des Phasenvergleichers (3) angeschlossen ist und an ihrem Ausgang in Abhängigkeit von einer Phasenabweichung zwischen dem Signal mit der Bezugsfrequenz (E) und einem vom Ausgangssignal des Oszillators (A) abgeleiteten Signal das Abstimmsignal (B) bereitstellt, und die zu ihrer Ansteuerung einen Referenzsignaleingang aufweist, einen Analog/Digital-Wandler (7, 8) mit einem Eingang, der zur Zuführung des Abstimmsignals (B) mit dem Ausgang der Steuerschaltung (4, 5) gekoppelt ist, und mit einem Ausgang zur Bereitstellung eines wertdiskreten Abstimmsignals und einen Referenzsignalgenerator (11 bis 17), der einangangsseitig mit dem Ausgang des Analog/Digital-Wandlers (7, 8) gekoppelt ist und der an seinem Ausgang, der mit dem Referenzsignaleingang der Steuerschaltung (4, 5) gekoppelt ist, in Abhängigkeit vom wertdiskreten Abstimmsignal ein Referenzsignal (G) bereitstellt.

2. Phasenregelschleife nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der Analog/Digital-Wandler (7, 8) einen Steuereingang aufweist zu seiner Aktivierung mittels eines Aktiviersignals (F) während eines Einschwingvorgangs der Phasenregelschleife. 5
3. Phasenregelschleife nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß ein Speicher (10) mit dem Ausgang des Analog/Digital-Wandlers (7, 8) gekoppelt ist zum Speichern des wertdiskreten Abstimmsignals. 10
4. Phasenregelschleife nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß der Oszillator (1) einen zwischen zumindest zwei Wertebereichen umschaltbaren Frequenzbereich hat und daß der Referenzsignalgenerator (11 bis 17) einen weiteren Eingang (18) hat zur Bereitstellung des Referenzsignals (G) in Abhängigkeit vom eingestellten Frequenzbereich. 15
5. Phasenregelschleife nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß ein Pufferverstärker (6) zwischen den Ausgang der Steuerschaltung (4, 5) und den Eingang des Analog/Digital-Wandlers (7, 8) geschaltet ist. 20
6. Phasenregelschleife nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Analog/Digital-Wandler (7, 8) mehrere, parallel geschaltete Komparatoren (7) aufweist. 25
7. Phasenregelschleife nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß zum Speichern der digitalisierten Abstimmspannung (B) je ein D-Flip-Flop (10) an je einen Ausgang je eines Komparators (7) angeschlossen ist. 30
8. Phasenregelschleife nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, daß zum Einstellen der Frequenz des Ausgangssignals (A) des Oszillators (1) ein Frequenzteiler (2) mit einstellbarem Teilverhältnis vorgesehen ist, der den Ausgang des Oszillators (1) mit dem ersten Eingang des Phasenvergleichers (3) koppelt. 35
9. Phasenregelschleife nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß die Steuerschaltung (4, 5) eine von dem als Phasendetektor ausgebildeten Phasenvergleichers (3) angesteuerte Ladungspumpenschaltung (4), der zu ihrer Ansteuerung das Referenzsignal (G) zuführbar ist, mit nachgeschaltetem Schleifenfilter (5) umfaßt. 40
10. Phasenregelschleife nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß im Referenzsignalgenerator (11 bis 17) eine Abgleichtabelle abgelegt ist, die zum Abgleich von Nicht-Linearitäten der Abstimmkennlinie des Oszillators (1) jeweils Intervallen des Abstimmsignals (B) je einen Wert des Referenzsignals (G) zuordnet. 50

---

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

---

55

60

65

- Leerseite -

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

FIG 1

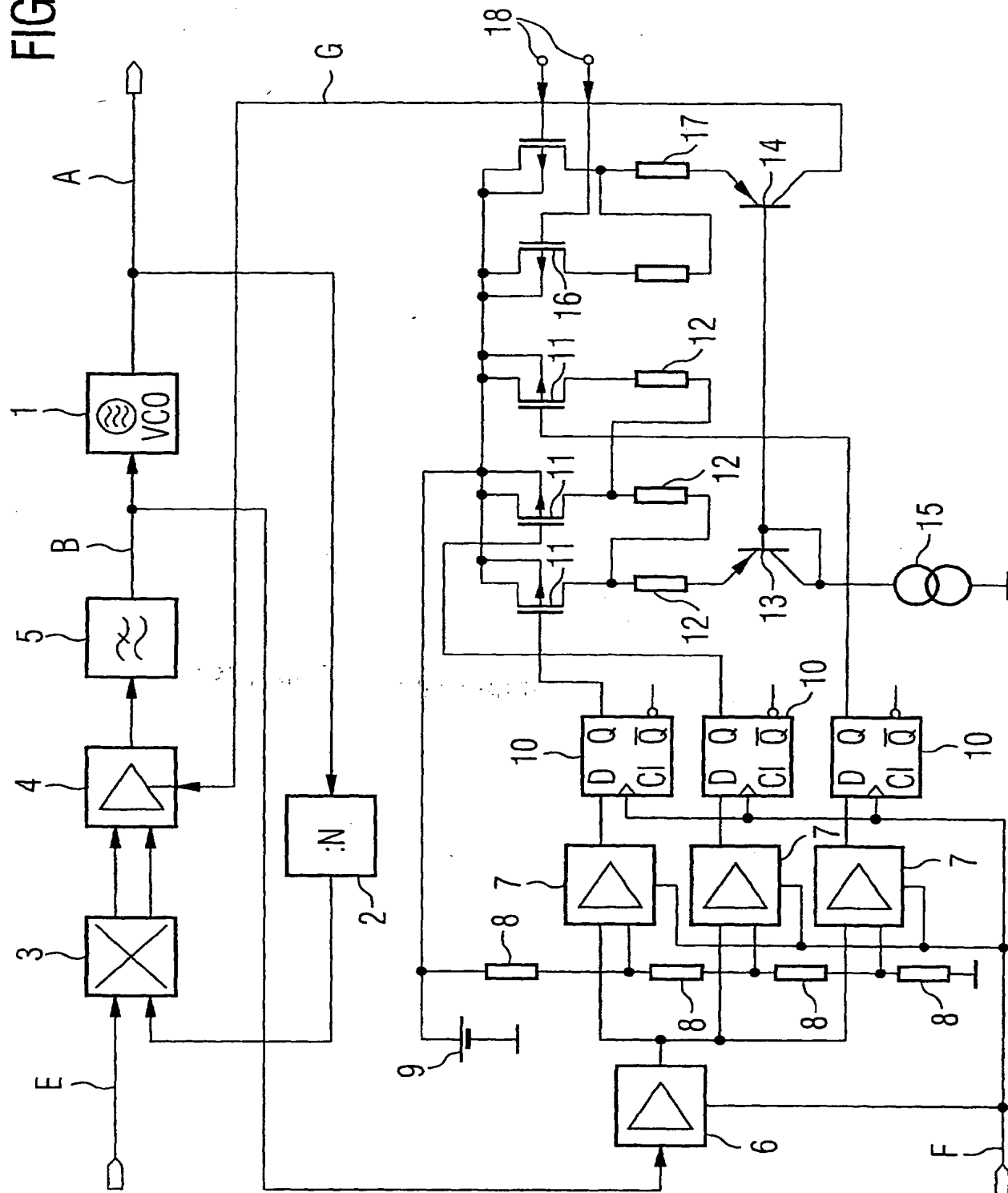




FIG 2

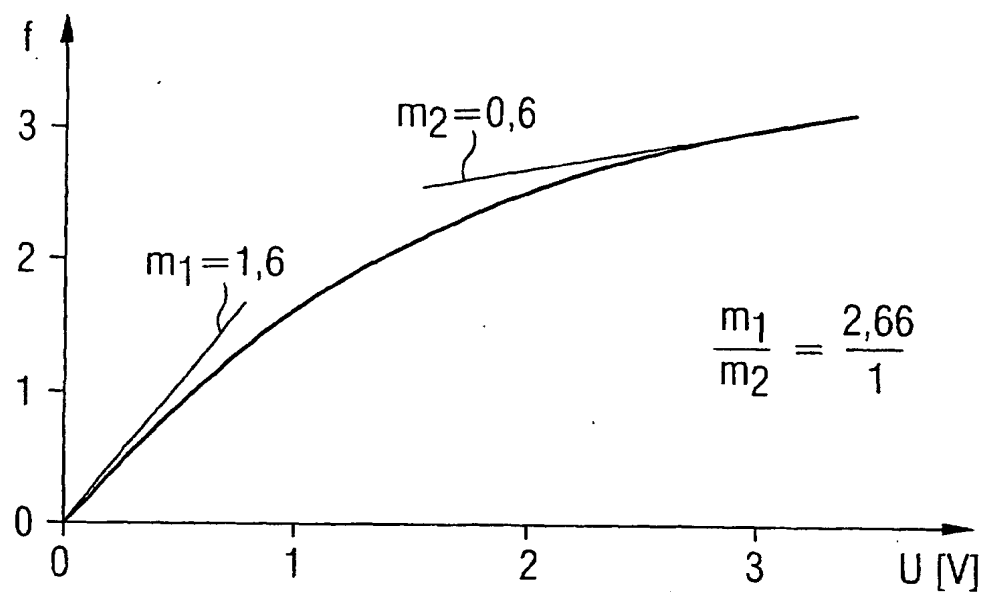


FIG 3

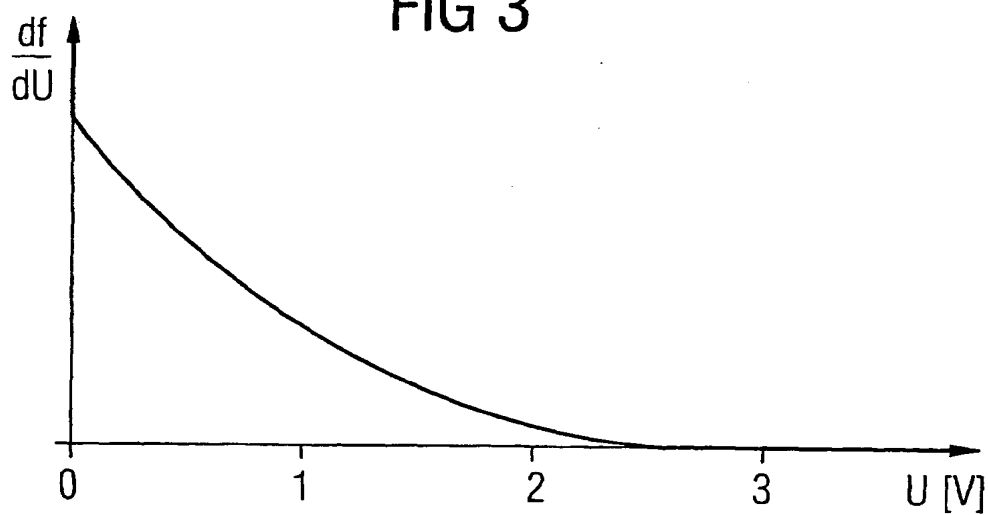


FIG 4

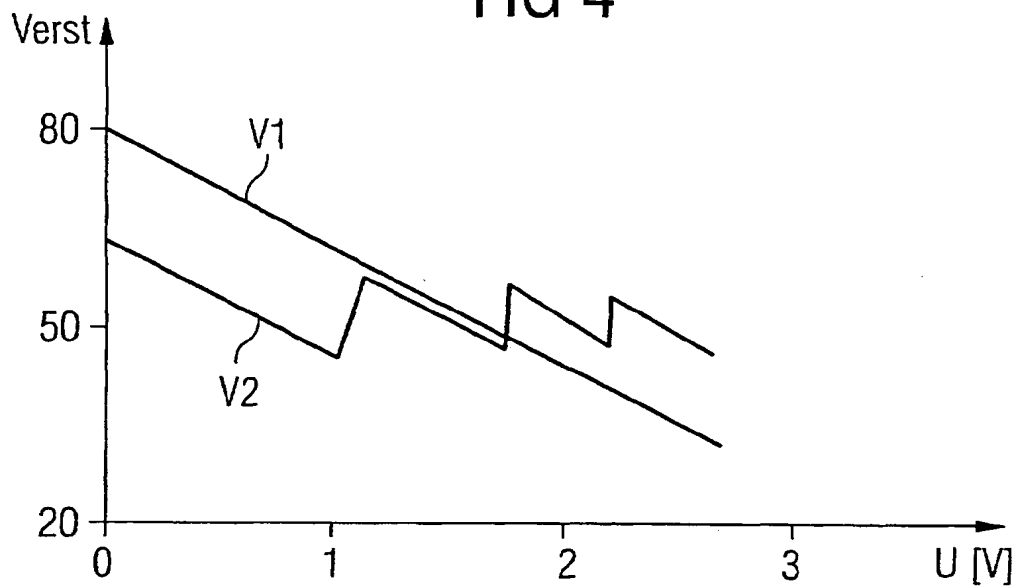


FIG 5

